

Ludat, Nicole, M. Sc. Wirt.-Ing.; Schult, Andre, Dipl.-Ing.

# Nachhaltig stabile Bahnlaufprozesse – Fehlerursachenanalyse und Reaktion

## 1 Einleitung

Der Herstellung von Kunststoffen, deren Weiterverarbeitung zu Halbzeugen wie Folien und Platten sowie Produkten wie Verpackungen oder Bauteilen wird in der deutschen Industrie, nicht zuletzt aufgrund der hohen Exportquoten, eine große Bedeutung zugesprochen [STAT2016]. Dabei müssen Halbzeugprodukte immer höheren Funktionsanforderungen bei zugleich geringerem Rohstoffeinsatz gerecht werden [DAUN2014]. Unter diesem Gesichtspunkt werden heute hohe Anforderungen an eine stabile Prozessführung mit zunehmend weniger Toleranz gegenüber Qualitätsschwankungen (z.B. fehlerhafte Druckbilder oder Siegelnähte) bei der Verarbeitung gestellt [VÄTH2011].

Neben den hohen Qualitätsansprüchen sind hohe Flexibilität und Ausbringung weitere Entwicklungstreiber von Maschinen und Halbzeugen [REIN2017]. Infolge dieser Entwicklung werden die Maschinen und Prozesse komplexer und mögliche Fehleranalysen sehr zeit- und kostenaufwändig. Eine große Herausforderung stellt insbesondere die Identifikation von Zusammenhängen zwischen Wirkungen und Ursachen dar. Beispiele hierfür sind

- Eigenschaftsschwankungen der Halbzeuge,
- kaum beschriebene und steuerbare Einflussgrößen der Halbzeugherstellung und -verarbeitung, Klimatisierung und Alterung oder
- physikalisch schwer beschreibbarer Effekte wie Reibung und Elektrostatik.

Diese Kausalität zwischen Wirkungen (Fehlerbilder wie bspw. Siegelnahtundichtigkeit) und Ursachen (Prozesseffekte wie bspw. unsachgemäße Lagerung oder Materialeffekte wie bspw. komplexes viskoelastisches Verhalten oder Reibverhalten) entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind oft vielschichtig und im konkreten Einzelfall sehr individuell. Zur Erkennung dieser Beziehungen ist eine sehr hohe Fachkompetenz in den jeweiligen Bereichen und darüber hinaus notwendig.

Gelöst werden diese Probleme aktuell häufig allein durch das Erfahrungswissen von Maschinenbedienern, Maschinen- und/oder Halbzeugherstellern. Darüber hinaus beschäftigen sich Forschungseinrichtungen mit einzelnen Fragestellungen und transferieren Forschungsergebnisse bspw. im Rahmen von öffentlich geförderten Projekten der industriellen Gemeinschaftsforschung (AiF IGF, BMWi) in die Industrie.

Mit Kenntnis einzelner Zusammenhänge können technische Systeme zur Erkennung und Analyse (bspw. Kamerasysteme) und/oder Prozessregelung (bspw. Drehrahmen) genutzt werden. Eine systematische Lösungssuche bei konkreten Qualitätsproblemen ist aktuell jedoch nach wie vor sehr aufwendig, wobei insbesondere eine iterative Lösungssuche durch Produktionsausfall und -ausschuss sowie hohem Personaleinsatz ressourcenintensiv ist.

## 2 Folgen inhomogener Bahnkraftverteilung

Fehlstellen am finalen Produkt, wie einer undichten Siegelnaht eines Chipsbeutels, wirken sich vor allem am Ende der Prozesskette negativ auf die Ausbringung aus mit teils hohen Ausschussraten. Innerhalb der Bahnlauftheorie wird seither beziehungsweise auf ein gutes Verarbeitungsverhalten und damit einer guten Maschinengängigkeit auch das Laufverhalten flächiger Halbzeuge genauer betrachtet. Nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik liegt demnach einer mangelnden Produktqualität häufig auch ein fehlerhafter Bahnlauf des Halbzeugs zugrunde. Fehler innerhalb des Bahnlaufverhaltens entstehen durch eine inhomogene Bahnkraftverteilung, welche wiederum zur Entstehung von z.B. Falten, Bahndurchhang, „Säbelbogen“, Flatterrändern bis hin zum Bahnabriss führen (Bild 1, Bild 2, Bild 3, Bild 4) [JONE2014].

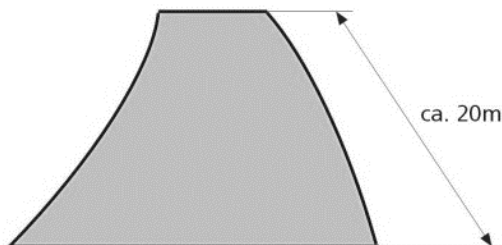


Bild 1 „Säbelbogen“

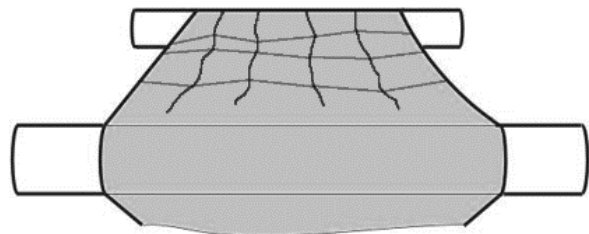


Bild 2 Faltenbildung

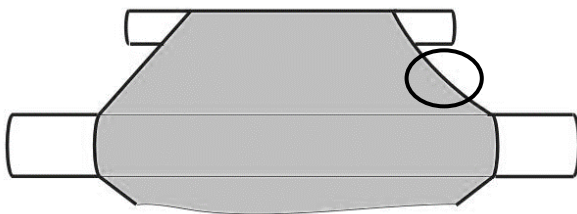


Bild 3 Bahndurchhang

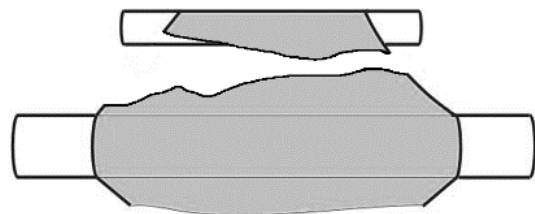


Bild 4 Bahnabriss

Für die Sicherstellung eines fehlerfreien Bahnlaufs durch die Verarbeitungsanlage ist eine definierte Bahnkraft erforderlich, die bisher nicht inline erfasst werden konnte.

In einer qualitativen Marktstudie des Fraunhofer IVV Dresden wurden 2017 innerhalb einer Industriebefragung über 25 Folienhersteller zu deren eingesetzten Verfahren hinsichtlich der Bewertung der eigenen Folienbahnqualitäten befragt. Die Mehrheit der Befragten gab Verarbeitungsprobleme Ihrer nach Spezifikation und unter definierten Herstellungsbedingungen hergestellten Folienbahnen an und kann keine exakte Fehlerursache angeben. Ein großer Polyethylen Folienhersteller gab dabei an *„Man kann der Rolle nicht ansehen, ob sie gut oder schlecht verarbeitet werden kann“* und auch ein kleiner mittelständischer Folienhersteller erklärte *„Wir haben Probleme bei der Weiterverarbeitung von Mutterrollen, die optisch aber sehr gut gewickelt waren“*. Beide Aussagen weisen auf die fehlenden und damit noch ungeklärten Zusammenhänge zwischen Wirkungen wie der schlechten Maschinengängigkeit der Folie und deren Ursachen hin. Ein Polyethylenterephthalat Folienhersteller aus dem Pharmabereich wies zudem auf die sich ändernden Bedürfnisse seiner Kunden hin *„Die Maschinengängigkeit von Folienbahnen spielt bei unseren Kunden eine immer größere Rolle“* [LUDA2017].

In der Praxis reagieren Folien- und Maschinenhersteller häufig prozessseitig durch z.B. aktive Systeme zur Prozessregulierung/-steuerung wie Breitreckwalzen, Bahnkantensensoren, Drehrahmen und Weitere. Folglich werden diese Verarbeitungsprobleme nicht in Ihrer Ursache beseitigt, sondern in Ihren Folgen. Durch Erhöhung des Bahnzugs, Überarbeitung von Walzensystemen und die Integration von weiteren Führungs- und Einlaufelementen bis hin zu neuen flexibleren Maschinenkonzepten können teilweise kleinere Qualitätsschwankungen ausgeglichen werden [GÖB2013] [GOET2001] [BRAN2005]. Dieses Vorgehen ist allerdings nur zum Teil und in gewissen Grenzen erfolgreich.

Da eine gute Produktqualität (z.B. saubere und dichte Nähte, gutes Druckbild, etc.) wesentlich von der Verarbeitbarkeit sowie dem damit einhergehenden Bahnlauf durch den gesamten Prozess und damit der Maschinengängigkeit von Packstoffbahnen abhängt, kommen in der Praxis weiterhin unterschiedliche Messverfahren und markterhältliche Systeme zur Anwendung. Eine der weitverbreitetsten Methoden stellt dabei die sogenannte „Säbelbogen“-Prüfung dar. Dabei werden der gesamten Kunststoffbahn oft nur wenige Meter entnommen, auf einer ebenen Fläche ausgerollt und deren Verlaufsabweichung (Bogenlauf) vermessen. Auch das Längsstreifenmessverfahren stellt in der Praxis eine gängige Methodik dar. Hierbei wird ebenfalls einer Packstoffbahn ein Prüfabschnitt entnommen, auf einer Prüfvorrichtung fixiert, in gleichbreite Streifen zugeschnitten und deren Längenunterschiede erfasst [NENT2006].

Weitere Systeme und Methoden sind z.B. optische Planheitsmesssysteme, EMFi-Folie (Elektromechanische Folie), Parotester oder Schmidt-Hammer (Wickelhärtemessung). Seltener finden auch Verfahren zur Dickenmessung von Folienbahnen mit Hilfe von Beta-

Strahlung oder das Erfassen des Längs- und Querschrumpfs mittels polarisiertem Licht bei amorphen Polymeren Anwendung. Einige Systeme sind oft nicht für Kunststoffbahnen geeignet, sondern werden innerhalb der Qualitätssicherung von Metall- und/oder auch Papierbahnen eingesetzt. Andere Systeme hingegen analysieren oder regeln den Bahnlauf nicht berührungslos und/oder nicht inline und ermöglichen so häufig nur stichprobenartige Messungen außerhalb des Produktionsprozesses.

### **3 Der Weg zu einer guten Maschinengängigkeit**

Die Maschinengängigkeit von Halbzeugen, wie z.B. von Kunststoffbahnen, beeinflusst wesentlich die Produktqualität, wie z.B. die Qualität der Verpackung. Was aber beeinflusst die Maschinengängigkeit? Die Antwort auf diese Frage ist ohne weitere Kenntnis über die zum Großteil noch ungeklärten Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen Halbzeugherstellung, Lagerung und Transport bis hin zur (Weiter-)Verarbeitung zu einem den Qualitätsanforderungen entsprechenden Produkt nicht möglich. Insbesondere bei der Lagerung werden starke Einflüsse vermutet, die bisher nicht untersucht wurden [LUDA2017].

Die Maschinengängigkeit kann durch eine Vielzahl einzelner Eigenschaften der Folie wie z.B. dem Reibverhalten, der elektrostatischen Ladungsneigung, der Materialsteifigkeit und Weiteren beschrieben werden und ist keine konkrete Kennzahl. Der Einfluss einzelner Parameter auf die Maschinengängigkeit ist sehr unterschiedlich.

Über 15 Jahre intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Fraunhofer IVV Dresden sowie jüngste Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Planlage ein entscheidendes Maß zur Qualitätsbeurteilung (Maschinengängigkeit) flächiger Halbzeuge ist. Doch was ist unter Planlage genau zu verstehen? Die Planlage flächiger Halbzeuge, z.B. aus Kunststoff oder Papier, ist das Maß für die Homogenität der Kraftverteilung innerhalb der Bahn, quer zu deren Laufrichtung. Vor allem die quantitative Erfassung der Planlage stellt in der Industrie eine große Herausforderung dar. Bisher fehlte ein technisches System/Messgerät, welches die Planlage als Qualitätsmaß für Halbzeuge und Halbzeugprodukte (inline) erfassen und bewerten kann. Vor diesem Hintergrund entwickelte das Fraunhofer IVV Dresden gemeinsam mit Forschungs- und Entwicklungspartnern ein patentiertes Inline-Verfahren zur optischen und berührungslosen Ermittlung der Bahnkraftverteilung einer Packstoffbahn – den Optical-Web-Tension-Profile-Scanner (Bild 5).

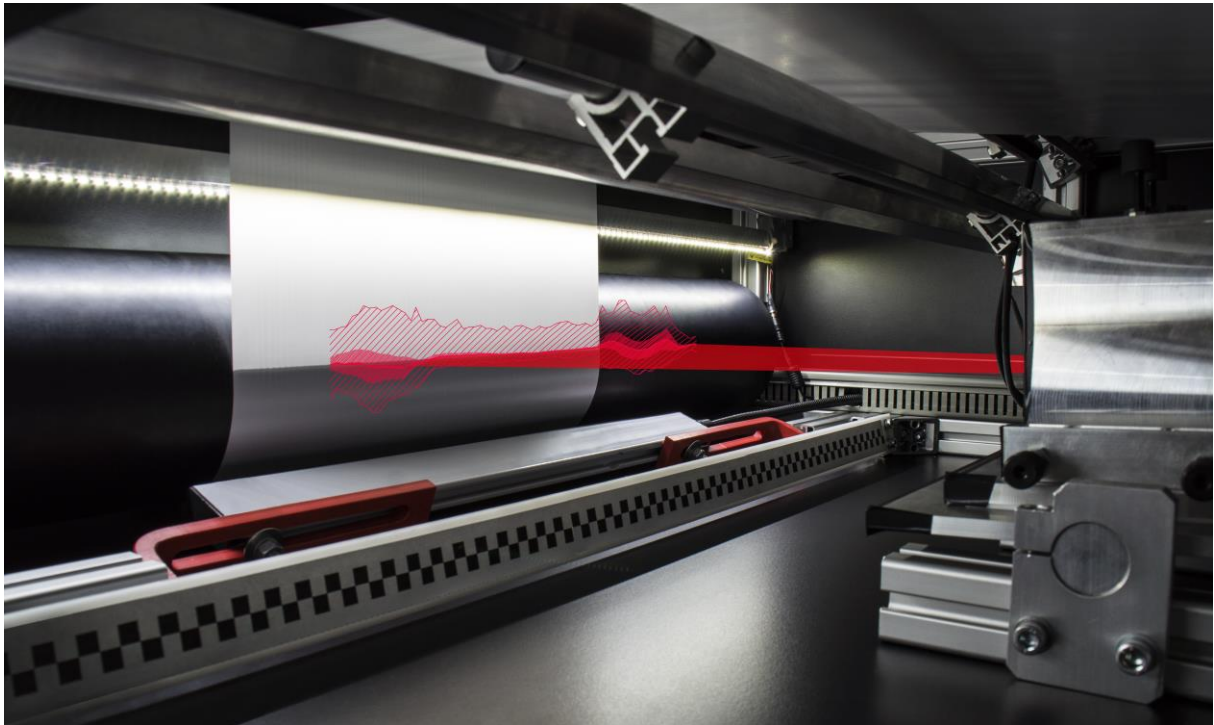


Bild 5 Optical-Web-Tension-Profile-Scanner (oWTP-Scanner)

Die Bahn wird an einer gummierten Umlenkwalze mit einer Haftkraft (elektrostatische Ladung) zur reproduzierbaren Ausbildung einer charakteristischen Ablaufkante, ähnlich wie Sie auch beim Ablösen am Folienwickel entsteht, beaufschlagt. Durch eine definierte Ausleuchtung des Messbereichs erfolgt anschließend mit Hilfe eines Kamerasystems die optische Erfassung dieser Kante. Eine speziell dafür entwickelte Software wertet die geometrische Form und Position der Ablaufkante aus und korreliert diese mit der Bahnkraftverteilung. Somit lassen Gestalt und Position der Kante Rückschlüsse auf die Bahnkraftverteilung zu [KRAM2014] [CLAU2012]. Am Ende des Messvorgangs erfolgt eine Entladung der Packstoffbahn zur Herstellung der elektrostatischen Ausgangsbedingungen, wie Sie vor der Messung vorlagen [LÜTT2014].

Weiterhin können im Rahmen möglicher Untersuchungen zur Maschinengängigkeit von Halbzeugen auch die Integration des oWTP-Scanner sowie weiterer Zusatzaggregate wie z.B. Reibmessgeräte, Formorgane und Weitere in den Bahnlaufversuchsstand des Fraunhofer IVV Dresden umgesetzt werden (Bild 6).

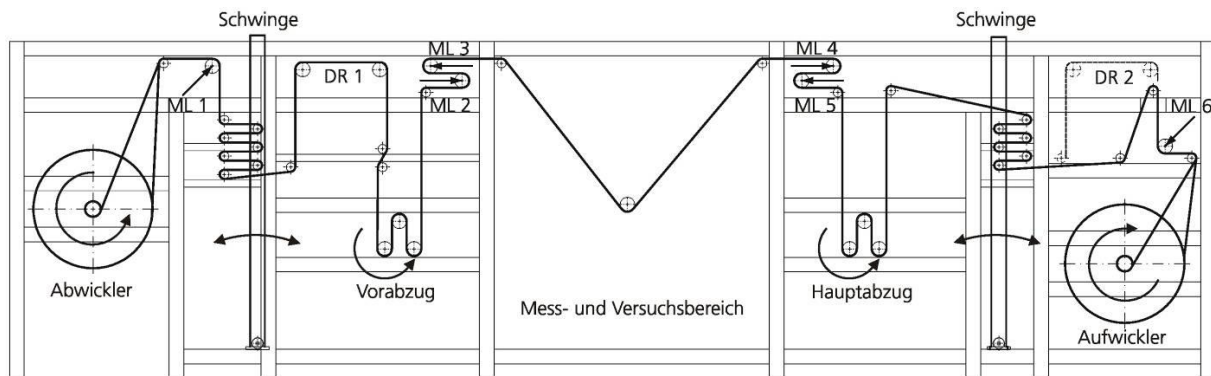


Bild 6 Bahnlaufversuchsstand des Fraunhofer IVV Dresden

Der Bahnlaufversuchsstand arbeitet nach dem Umwicklerprinzip und unterteilt sich in die drei Funktionsbereiche Abwicklung, Messung und Aufwicklung. Diese ermöglichen die Einstellung definierter Verarbeitungsbedingungen. Der geregelten Abwicklung folgt ein geregeltes Tänzerwalzensystem mit Bahnspeicherfunktion. Mit Auswahl einer entsprechenden Vorspannung ist eine definierte Wickelspannung bei der Aufwicklung der Packstoffbahn möglich. Innerhalb des Mess- und Arbeitsbereichs können unterschiedliche Verarbeitungsvorgänge und die Erfassung von Bahnkräften sowie deren Verteilung simuliert werden. Die Untersuchung unterschiedlicher Baugruppen wird durch eine flexible Bahnführung, einer separaten Antriebstechnik und den umfangreiche Bauraum ermöglicht. Beispiele für Untersuchungen am Versuchsstand sind:

- Optische Ermittlung der Bahnkraftverteilung
- Ermittlung von Packstoffeigenschaften unter praxisrelevanten Verarbeitungsgeschwindigkeiten (Biegung/Reibung/Elektrostatik)
- Simulation von Störeinflüssen
- Durchführung von Belastungsanalysen
- Einflüsse von Maschinenbaukomponenten auf das Bahnlaufverhalten
- Fehlerursachenanalysen bei Bahnlaufproblemen
- Korrelationsuntersuchungen einzelner Parameter und deren Einfluss auf die Maschinengängigkeit

Sowohl mit Hilfe des patentierten Inline-Messverfahrens zur optischen Ermittlung der Bahnkraftverteilung als auch den Untersuchungsmöglichkeiten am Bahnlaufversuchsstand sind die Anforderungen für eingehende Betrachtungen zu den Zusammenhängen der zum Großteil noch ungeklärten Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen Herstellung, Lagerung und Transport bis hin zur (Weiter-)Verarbeitung erfüllt.

## 4 Aktuelle Forschungsarbeiten – „SmartExtrusion“

In den aktuellen Arbeiten des Fraunhofer IVV Dresden zur Sicherung von Qualitätskriterien bei der Herstellung von Kunststoffbahnen im Extrusions- und Umkehrbeschichtungsverfahren „SmartExtrusion“ werden erstmals Korrelationsuntersuchungen zu ausgewählten Parametern aus dem Flachfolienextrusions- und dem Lagerungsprozess sowie deren Einfluss auf die Planlage von Kunststoffbahnen durchgeführt (Bild 7).

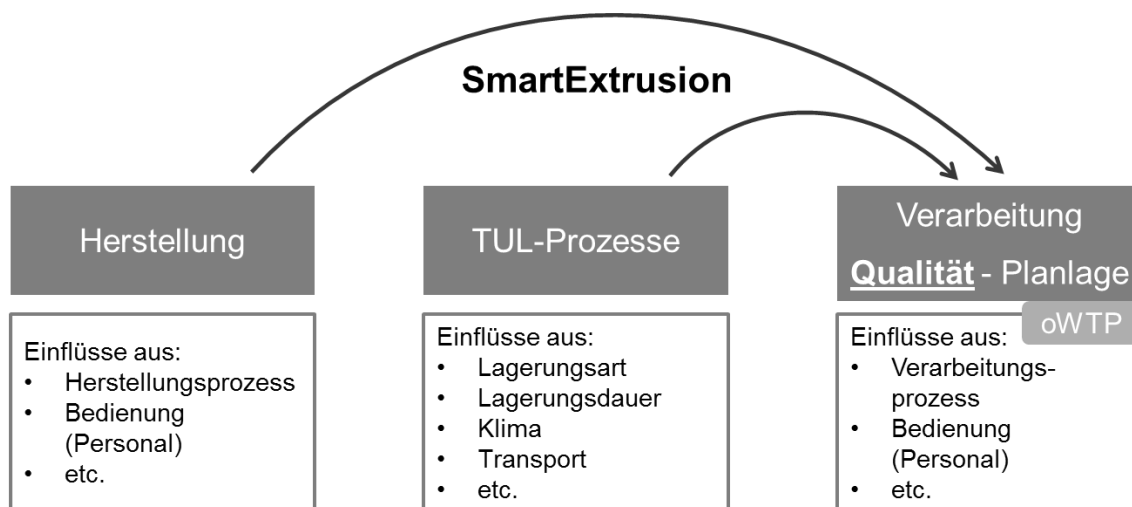


Bild 7 Sicherung von Qualitätskriterien bei der Herstellung von Kunststoffbahnen im Extrusions- und Umkehrbeschichtungsverfahren „SmartExtrusion“

Zu Beginn der Projektarbeit wurde die Bahnkraftverteilung qualitativ guter und weniger guter Folienrollen mit Hilfe des oWTP-Scanners innerhalb des Bahnlaufversuchsstands des Fraunhofer IVV Dresden optisch ermittelt. Bei der Materialauswahl wurden unter Berücksichtigung der aktuellen Kunststoffnachfrage in Europa die zwei amorphen Kunststoffe Polycarbonat und Polystyrol als auch zwei teilkristalline Kunststoffe Polyethylen und Polypropylen ausgewählt [PLAS2016]. Die Projektpartner stellten für die Untersuchungen die entsprechenden Industrierollen in den unterschiedlichen Qualitätsstufen bereit. Die Messergebnisse bilden einen wesentlichen Grundstein und sind damit Hauptbewertungskriterium für die Quantifizierung von Grenzwerten zur Beurteilung der Homogenität der Kraftverteilung innerhalb einer Kunststoffbahn (Planlage).

Für die quantitative Grenzwertermittlung mittels oWTP-Scanner wurden folgende Kriterien festgelegt:

- Ablaufkante der Folienbahn (mittlere absolute Abweichung und Schwankungsbreite)

- Normalverteilung (Histogramme) über die Bahnbreite
- Normalverteilung (Histogramme) über die Bahnlänge

Anhand der Ablaufkante der Folienbahn wird vor allem bei sehr inhomogener Bahnkraftverteilung schnell ein Verlauf der Kante sichtbar (Bild 8). Demgegenüber stellt sich bei sehr homogener Kraftverteilung der Bahn eine gerade Ablaufkante mit nur geringem bis keinem Schwankungsbereich ein (Bild 9).

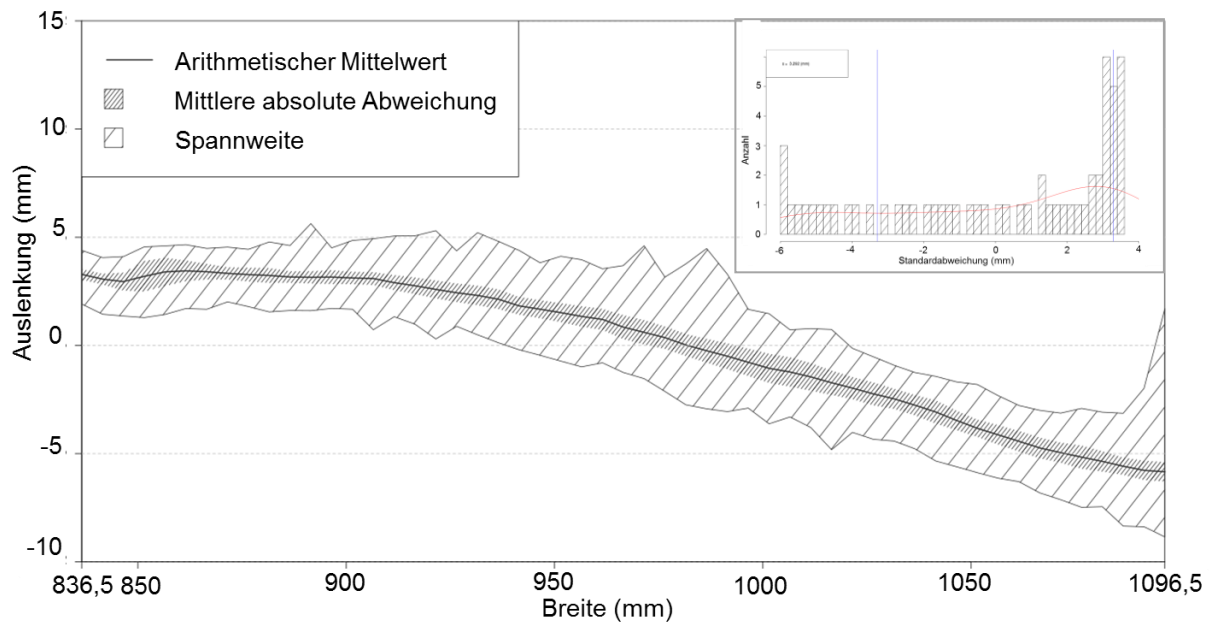


Bild 8 Ablaufkante einer Folie mit ungenügender Planlage

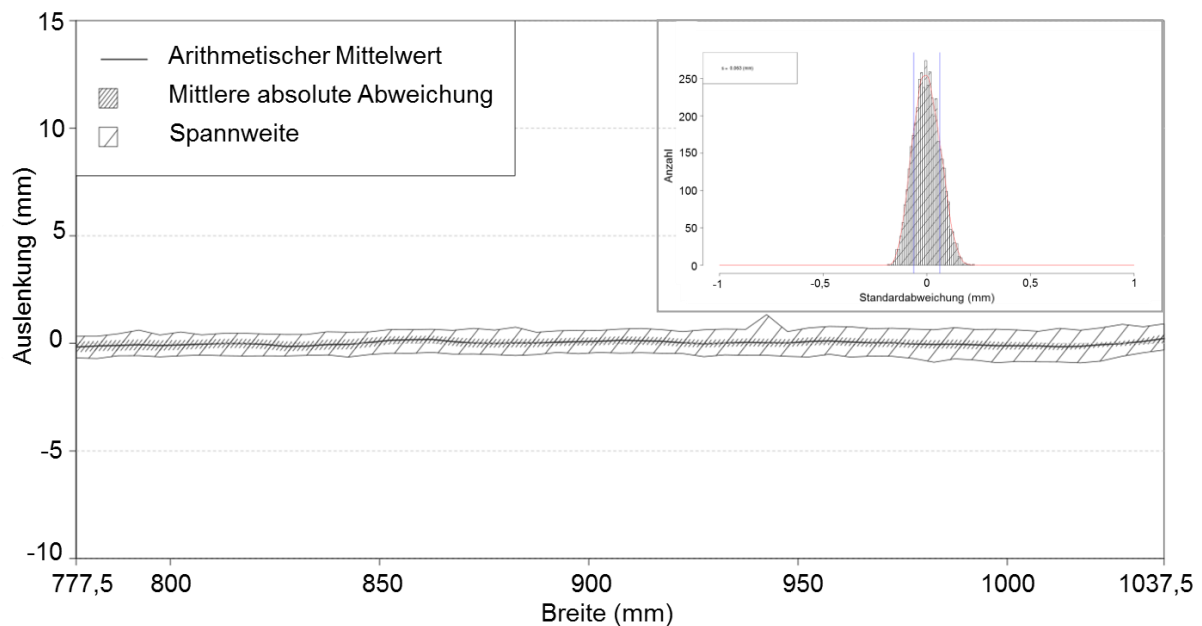


Bild 9 Ablaufkante einer Folie mit guter Planlage



Die Beispiele zeigen auf differenzierte Weise eine sehr deutliche Auslenkung der Ablaufkante auf, welche zum einen eine deutliche Inhomogenität im Bahnspannungsprofil der einen Folie (Bild 8) und zum anderen ein sehr homogenes Profil (Bild 9) der anderen Folienbahn aufweist. Dabei wurde bei ersterem auch eine sehr große Schwankungsbreite der Messdaten über die Breite der Bahn festgestellt, welche sich keiner Normalverteilung annähert. Die Folie mit guter Planlage hingegen wies auch über die gesamte Länge der Bahn ein homogenes Bahnkraftprofil auf.

Die Betrachtung ausschließlich eines der drei Kriterien ist jedoch nicht ausreichend, da neben der charakteristischen Ablaufkante einer Folienbahn ebenso eine Qualitätsbeurteilung entlang der gesamten Bahnbreite und –länge erforderlich ist, um so z.B. wiederkehrende Bahneffekte oder visuell kaum wahrnehmbare Bahnlauffehler zu erfassen. Weiterhin können die einzelnen Bewertungskriterien nicht unabhängig voneinander für die Planlagebeurteilung herangezogen werden. Somit hat z.B. eine sehr gute Normalverteilung über die Bahnlänge nicht unmittelbar gute Planlageeigenschaften der Bahn zur Folge, vielmehr ist Sie ein Indiz für die gleichbleibende Homogenität oder auch Inhomogenität der Bahnkraftverteilung über die gesamte Länge.

Nach Abschluss der Versuchsdurchführungen im Projekt „SmartExtrusion“ wurden die Messdaten ausgewertet, verglichen und anhand von 6 Qualitätsstufen klassifiziert. Dies bildete die Grundlage für die quantitative Grenzwertfestlegung zur Beurteilung der Bahnkraftverteilung von Folienbahnen und damit der Planlage.

Neben der optischen Ermittlung der Bahnkraftverteilung wurden ergänzend zwei weitere konventionelle Bewertungsverfahren zur Planlagebeurteilung herangezogen, die „Säbelbogenprüfung“ und Längsstreifenmessung. Beide Verfahren haben sich aufgrund fehlender alternativ geeigneter Messsysteme in der Industrie als gängige Praxis etabliert. Für die „Säbelbogenprüfung“ wurden jeder Kunststoffbahn 10 Laufmeter entnommen, mit Hilfe von Lasertechnik plan entlang einer Messskala ausgelegt und auf Ihren Bogenlauf hin untersucht (Abstand der Bahnkante von der Messskala). Hierbei wurden je Prüfabschnitt 40 Messpunkte festgelegt. Anschließend wurde aus selbigen Prüfabschnitten der jeweilige Teilabschnitt für die Längsstreifenmessung (1m) entnommen und mit einem Schneidplotter in gleich breite Streifen zugeschnitten. Diese wurden an einer Versuchsvorrichtung fixiert und auf deren Längenunterschiede vermessen.

Die Ergebnisse beider Bewertungsverfahren gingen im Vergleich mit den oWTP-Scanner Messdaten für die quantitative Grenzwertermittlung weniger stark ein. Etwa 60% der Ergebnisse der „Säbelbogenprüfung“ stimmen annähernd mit den Ergebnissen zur optischen Ermittlung der Bahnkraftverteilung überein. Nur auf etwa 40% der Ergebnisse der Längsstreifenmessung ist dies ebenfalls zutreffend. Weiterhin weisen beide Methoden die in nachfol-

gend genannten Fehlerquellen auf, weshalb die Ergebnisse zur quantitativen Grenzwertfestlegung nur begrenzt geeignet sind:

- Schwierige Reproduzierbarkeit (Schaffung definierter Versuchsbedingungen schwierig, aufgrund fehlender einheitlicher Vorgaben zur Versuchsdurchführung)
- Umgebungseinflüsse (wie der Untergrund der Messung, z.B. Glas, Kunststoff, Metall etc.)
- Bedienereinfluss (Messungenauigkeiten, Auslegen der Bahn etc.)
- Begrenzte Datenmenge
- Mangelnde Übertragbarkeit der Teilergebnisse auf die Gesamtheit einer Folienbahn
- Elektrostatische Ladungsneigung der Folien
- Unterschiedliches Materialverhalten (z.B. Einrollen der Streifen, Faltenwurf, etc.)

Im Rahmen der kritischen Würdigung beider Verfahrensweisen wird deutlich, dass keine Berücksichtigung unterschiedlicher oder wiederkehrender Bahnlauffeffekte, wie sie aus den qualitätsbeeinflussenden Parametern aus dem Herstellungs-, Lagerungs- oder Verarbeitungsprozess hervorgerufen werden, erfolgt und es sich im Einzelnen ausschließlich um eine Momentaufnahme handelt. Somit können die Aussagen aus der Praxis, welche im Rahmen der Marktstudie erhoben wurden, ebenfalls bestätigt werden. Beide Messmethoden stellen keine sichere Bewertungsgrundlage für die Planlagebeurteilung und damit auch für die Maschinengängigkeit von Folien dar. Demnach hat ein guter Bogenlauf nicht unmittelbar ein gutes Verarbeitungsverhalten der Folie auf der Anlage zur Folge. Im Ergebnis kommt es so zu Qualitätsmängeln am Produkt, die zuvor aufgrund dieser Bewertungsverfahren nicht erkannt werden und damit eine kontinuierliche Inline Erfassung der Bahnkraftverteilung erfordern.

Die im Projekt „SmartExtrusion“ ermittelten quantitativen Grenzwerte sind Grundlage für die bevorstehenden Untersuchungen der Planlage-beeinflussenden Parameter aus dem Extrusionsprozess. Untersucht werden dabei ein amorphes und ein teilkristallines Monomaterial. Unter Variation des Breitschlitzdüsenpals, der Extrusionsgeschwindigkeit und –temperatur sowie der Walzentemperatur (Kühlung) werden qualitativ gute und weniger gute Folienbahnen hergestellt und deren Kraftverteilung inline erfasst. Weiterhin werden innerhalb von Lagerungsversuchen die Einflüsse der Lagerungsart (auf Spiegel, auf Umfang, Hängend) und des Lagerungszeitraums (24 Stunden, eine Woche, drei Monate) auf die Planlage untersucht. Daran anschließend werden die Folienbahnen auf dem Bahnlaufversuchsstand des Fraunhofer IVV Dresden mit Hilfe des oWTP-Scanners erneut auf Ihre Planlage hin untersucht.

In Folge der Versuche im Labormaßstab finden in Bezug auf die industrielle Übertragbarkeit der Ergebnisse ebenfalls Versuche an einer Versuchs-/Pilotanlage eines Projektpartners

statt. Abschließend werden die gewonnenen Planlageinformationen für die Erstellung eines Grundlagenkatalogs für eine planlageoptimierte Flachfolienextrusion und einer Produktqualität dienlicher Lagerung von Kunststoffbahnen rückgeführt. Zum Projektende steht die Übertragung der Ergebnisse in die Wirtschaft, z.B. in Form einer IVLV Richtlinie oder eines VDMA-Einheitsblattes.

## **5 Vision des Fraunhofer IVV Dresden**

Ziel der weiteren Arbeiten am Fraunhofer IVV Dresden ist es, neben den Ergebnissen des Forschungsvorhabens „SmartExtrusion“, die bereits bestehenden als auch fehlenden Ursachen-Wirkungszusammenhängen zu typischen Fehlerbildern systematisiert abzubilden, Kompetenzen zu bündeln und eine Recherchemöglichkeit nach erhältlichen Lösungen für konkrete Problemstellungen in der Verarbeitungs- und Verpackungstechnik zu schaffen. Mit Hilfe eines neuen webbasierten Ansatzes der Visualisierung werden in den weiteren Arbeiten innerhalb eines Kompetenzatlas für Maschinengängigkeit, ausgehend von Fehlerbildern (bspw. undichte Siegelnähte), einzelne Ursachen in verschiedenen Ebenen (bspw. inhomogene Planlage → Lagerungsbedingungen) entlang dem Verarbeitungsprozess dargestellt. An den Verlinkungen und Knoten werden so thematisch passende, öffentliche Forschungsprojekte (bspw. mit Literaturverweisen, Kurzfassungen, Ansprechpartnern) sowie technische Systeme (bspw. oWTP des Fraunhofer IVV Dresden) zur Überwachung oder Regelung hinterlegt. Damit ist ein sich stetig erweiternder Wissensspeicher sichergestellt.

Unabhängig dieser webbasierten Lösung liegt die Vision und langfristiges Ziel einer guten Maschinengängigkeit von flächigen Halbzeugen in selbstregelnden Systemen (Bild 10).

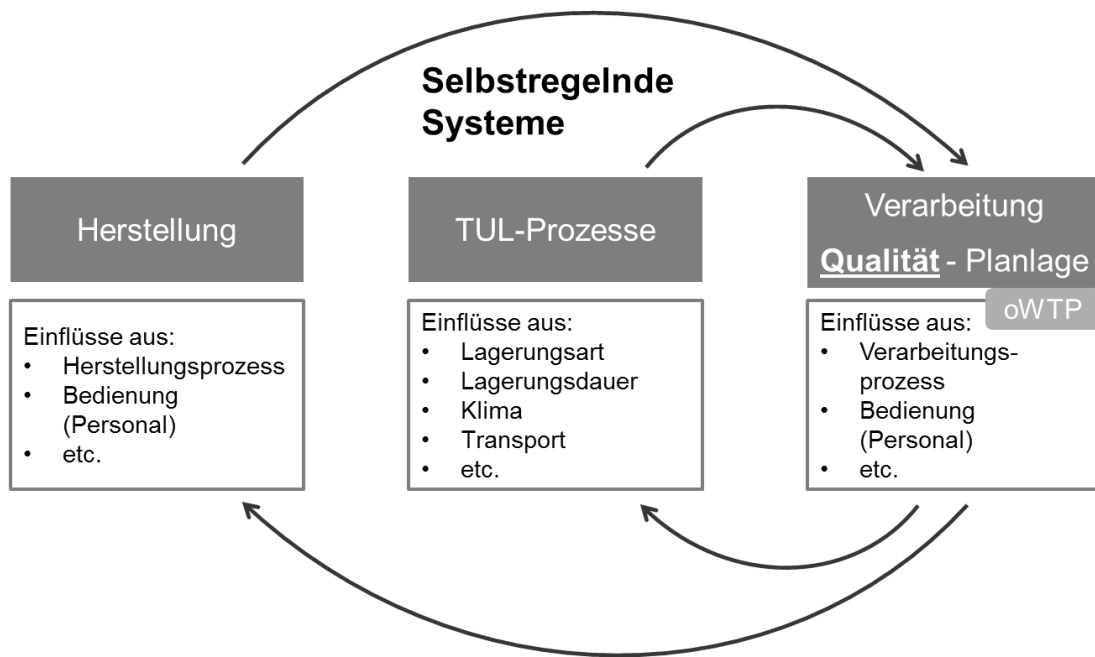


Bild 10 Selbstregelnde Systeme für eine gute Maschinengängigkeit

Basierend auf einer systematischen Fehler-Ursachen-Analyse und Bewertung bestehender technischer Systeme (Messtechnologien) sowie industriell etablierten Reaktionen erfolgt eine Beschreibung/Definition der Maschinengängigkeit sowie wissenschaftliche Klärung der wesentlichen Einflussgrößen und Zusammenhänge.

Zusammenfassend folgen Vorteile in Abhängigkeit der angestrebten Erkenntnis zu den, für die Maschinengängigkeit von Halbzeugen wesentlichen, Ursachen-Wirkungszusammenhänge:

1. Stabile Bahnlaufprozesse
2. Effiziente Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse
3. Selbstregulierendes System, welches die Maschinengängigkeit deutlich verbessert und frühzeitig den Prozess reguliert

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Am Beispiel des in Verarbeitungs- und Verpackungsmaschinen oft produktivitätshemmenden Bahnlauf- und Verarbeitungsverhaltens flächiger Halbzeuge wird dargestellt, dass genaue Kenntnisse über die tatsächlichen Zusammenhänge zwischen den Wirkungen und deren

Ursachen maßgebend für eine gute Produktqualität sind. Erste Zusammenhänge werden dabei bereits im Forschungsprojekt „SmartExtrusion“ eingehend untersucht. Mit Hilfe des OWTP-Scanners wird dabei erstmals in unterschiedlichen Prozessstufen (Herstellung → Lagerung → Verarbeitung) die laufende, berührungsfreie Erfassung der Kraftverteilung einer Kunststoffbahn ermöglicht.

Diese und weitere bereits bestehende oder noch fehlende Zusammenhänge gilt es sichtbar und vor allem zugänglich zu machen. Somit wird erstmals am Fraunhofer IVV Dresden ein webbasierter Kompetenzatlas entwickelt, welcher eine schnelle problemlösungsorientierte Recherche nach entsprechenden Themen und Kompetenzen, bis hin zu einzelnen Ansprechpartnern, ermöglicht. Kurzfristiges Ziel dabei ist die Entwicklung und Validierung einer ersten Ausbaustufe in Form einer webbasierten Visualisierung und Aufarbeitung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik beispielhaft zum Thema Bahnlauf. Dadurch haben die Nutzer Zugriff auf Wissen zu Ergebnissen aus Forschungsprojekten, erhältlichen technischen Mess- und Regelsystemen sowie Kompetenzträgern aus Industrie und Wissenschaft. Das hier angestrebte interne Projekt liefert somit die Grundlage für einen ersten komplexen Wissensspeicher für die weiterführende Entwicklung eines Kompetenznetzwerks mit Austauschplattform.

Der zu Grunde liegende Wissensspeicher ist dabei ebenfalls Grundlage für den abschließend visionären Grundgedanken des Fraunhofer IVV Dresden, den selbstregelnden Systemen. Diese Systeme detektieren bereits frühzeitig mögliche Folgewirkungen und damit einhergehende Fehlerbilder und empfehlen bzw. ergreifen Maßnahmen zur Fehlerprävention. Somit erfolgt z.B. frühzeitig eine Anpassung der Walzentemperatur im Extrusionsprozess bevor es zu einem Faltenwurf und damit zu schlechten Siegelnähten der Verpackung kommt.

## **7 Danksagung**

Das beschriebene Projekt „SmartExtrusion“ wird durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschung AiF (über Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung e.V. – IVLV) / Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi gefördert. Die Autoren danken dem BMWi für die großzügige Unterstützung der in der vorliegenden Publikation beschriebenen Arbeit.

## Literatur

- /BRAN2005/ BRANDENBURG, G.; ET AL.: Verfahren und Vorrichtung zur Regelung des Schnittregisters bei einer Rollendruckmaschine mit mehrbahnigem Betrieb. WO2005016806 A1, 2005
- /CLAU2012/ CLAUS, R.; ET AL.: Optische Messung des Bahnkraftprofils bei schnelllaufenden Verarbeitungsprozessen. In: TU Dresden, Lehrstuhl Verarbeitungsmaschinen/Verarbeitungstechnik: Praxis trifft Wissenschaft. Tagungsband Dresden, 2012
- /DAUN2014/ DAUNER, G.; ET AL.: Industrial Manufacturing. Megatrends Research. Firmenschrift der KPMG AG, Deutschland, 2014
- /GÖB2013/ GÖB, M.; ET AL.: Anforderungen an die Bahnlaufsteuerung bei heutigen modernen Maschinenkonzepten. VVD-Fachvortrag, VVD Tagung Dresden, 2013
- /GOET2001/ GOETTSCHING, L.; ET AL.: A method for nondestructive determining a correlation with the characteristic value of tensile strength on a moving paper web. DE4221395 C2, 2001
- /JONE2014/ JONES, D.P.: Wrinkles in thin webs on rollers and their generation by heat. 12. Bahnlaufseminar. VWF Verlag für Wissenschaft und Forschung Berlin, Cleveland GB, 2014
- /KRAM2014/ KRAMER, M.: Optische dynamische Erfassung von Bahnspannungsprofilen. 12. Bahnlaufseminar Chemnitz, Tagungsband, Chemnitz, 2014
- /LUDA2017/ LUDAT, N.: Industriebefragung zu konventionell eingesetzten Bewertungsverfahren zur Planlagebeurteilung von Kunststoffbahnen. Telefoninterviews, Dresden, 2017
- /LÜTT2014/ LÜTTGENS, G.: Statische Elektrizität, begreifen-beherrschen-anwenden. 7. Aufl. expert verlag Renningen, 2014
- /NENT2006/ NENTWIG, J.: Kunststoff-Folien: Herstellung – Eigenschaften – Anwendung. Carl Hanser Verlag München Wien, 2006
- /PLAS2016/ PLASTICSEUROPE DEUTSCHLAND E.V.: Plastics – the Facts 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste data. PlasticsEurope Deutschland e.V. und Messe Düsseldorf, 2016
- /REIN2017/ REINHART, G.: Handbuch Industrie 4.0. Carl Hanser Verlag München, 2017
- /STAT2016/ STATISTISCHES BUNDESAMT: Produzierendes Gewerbe – Betriebe, Tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigungsgrößenklassen. Druckschrift des Statistischen Bundesamts, Wiesbaden, 2016
- /VÄTH2011/ VÄTH, U.; ET AL.: Die deutsche Verpackungsindustrie. 2011